

BIG DATA 그리고 대기오염물질 산정의 패러다임 변화¹⁾

- 도로부문 미세먼지를 중심으로 -

장현호(서울대학교 환경대학원 환경계획학과)

이영인(서울대학교 환경대학원 환경계획학과)

36

I. 시작하며

미세먼지는 공기의 질과 관련된 최근의 주된 사회적 이슈이다. 국내 대기오염물질 배출량 중 자동차에 의한 도로이동오염원의 배출량(톤/일)은 미세먼지(PM10) 33.2(10.0%), 초미세먼지(PM2.5) 30.5(14.5%) 그리고 질소산화물(NOx) 919.8(30.8%)로 보고되고 있다¹⁾. 이에 따라 도로이동 대기오염물질을 감축하기 위한 강도 높은 디젤 차량 규제정책의 필요성이 제기되고 있다.

자동차 대기오염물질 배출량 규제정책의 단·중기적인 감축 목표치를 설정하고, 이를 달성하기 위한 정책을 수립/평가하기 위한 선결조건은 신뢰성을 담보하는 방법론을 기반으로 추정된 도로이동오염원의 대기오염물질 배출량이다. 그러나 현행의 자동차 대기오염물질 배출량 추정 방법론과 추정치는 전문가 집단 내에서 갑론을

박의 순환 고리를 벗어나지 못하고 있는 것으로 보인다. 따라서 미세먼지 감축을 위한 선결조건은 추정방법론의 합리성에 관한 컨센서스의 형성이라 할 것이다.

컨센서스 형성의 방법은 무엇인가? 라는 질문에 대한 답은 쉽고 명백하다. 합리적 방법론, 추정과정의 세부자료 공개 그리고 합리적 추정값이며, 이를 소수 전문가가 아닌 다수 전문가 집단과 국민이 공유해야 한다. 이는 달리 말해, 도로이동오염원의 대기오염물질 배출량 감축이라는 목표를 달성할 수 있는 전쟁 명분이라 할 수 있다. 그렇다면 ‘공유의 수단은 무엇인가?’ 라는 질문에 본 글에서는 Big Data를 기반으로 하는 기술적 답을 찾고자 한다.

최근 국내 내비게이션 누적 판매량은 1,500만대를 초과하였으며, 스마트폰 보급률은 90%를 초과하였다. 이는 90% 이상의 운전자가 1~2개의 경로안내 내비게이션을 이용할 수 있는 환경이 조성되었음을 의미하며, 내비게이션을 통해 수집되는 방대한 양의 (1초 단위) Point-to-

1) 본 글은 “교통혼잡지도 시스템 유지보수 및 온라인 시범 서비스” 연구(한국교통연구원, 2015)의 도로이동오염원 배출량 모니터링 시스템의 성과를 활용하여 작성되었다.

point (이하 P2P) 차량계측 자료는 미시적 수준에서 도로구간의 속도 및 통행량 정보를 활용을 가능하게 하였다. 따라서 본 글은 대용량 P2P 차량계측 정보와 Big Data 분석 기술을 이용하여 도로이동오염원의 미세먼지 배출량을 신뢰성 있게 추정하는 기술의 소개를 목적으로 한다. 추가로, 소개된 기술로 추정된 미세먼지 배출량에 대한 논의와 더불어 향후 개발방향에 대해 논의하도록 한다.

II. 기술 진보의 방향성 모색

1. 현행 기술과 한계

대표적인 도로이동오염원의 배출량 모형으로 유럽의 COPERT^[6]와 미국의 EPA 모형^[5]이 있다.²⁾ 국내의 경우, 국립환경과학원(NIER)이 개발/운영하고 있는 대기정책 지원시스템(Clean air policy support system, 이하 CAPSS)을 들 수 있으며, CAPSS는 COPERT 모형의 상당부분을 따르고 있다. 이상 방법론들은 공통적으로 활동도와 배출 원단위의 곱으로 총 배출량을 다음과 같이 산정하고 있다.³⁾

$$E_i = \sum_v A_{i,v}(q_v, l) \times EU_{i,v} + \sum_v C_{i,v} \\ EU_{i,v} = \sum_b O_b \times EF_{i,b}(s)$$

차종별 연식별 속도에 따른 배출함수가 정확하다는 가정 하에 배출량 추정의 신뢰성은 차량 주행거리(대*km/시간, Vehicle kilometer travelled, 이하 VKT)와 차량속도

의 조사 정확도에 의존한다. 그러나 교통량과 속도가 수집되는 도로구간은 주도로(고속도로, 국도, 주요 도시간 선도로)에 한정되고 있으며, 부도로 및 접근로의 자료는 전무한 실정이다. 이러한 현실적 문제를 극복하고자 미관측 도로구간의 교통량을 추정하기 위한 연구가 수행되었으나^{[7],[8],[9]}, 추정오차는 평균 30~40%, 최대 300% 이상으로 나타나고 있어 적용에는 무리가 있는 것으로 판단된다. 국내의 경우, 공간통계모형의 하나인 Interpolation with Gaussian process regression (또는 Kriging)을 이용하여 미관측 도로구간의 교통량을 추정하기도 하였으나 추정오차는 평균 40%로 나타났으며, 이는 해외 연구 사례^{[8],[9]}와 유사한 결과를 보이고 있다. 사실상 전체 도로구간 대비 관측 도로구간의 비율이 2.4% 수준인 국내 현실상 Kriging 모형의 적용에는 한계가 있다고 판단되며^[3], 교통량 조사가 수행되지 않는 대부분의 중소도시에 적용하기에는 현실적인 한계가 있다.⁴⁾ CAPSS의 경우, 교통안전공단(이하 공단)에서 제공하는 차고지가 속한 행정구역별 VKT를 적용하고 있으나^[2], 최근 교통안전공단의 조사 신뢰도가 제시되었다.⁵⁾ 또한, 공단의 VKT에서 관측 도로구간의 VKT를 제외한 나머지를 행정구역의 관측 VKT의 비율에 따라 배분하고 있다. 이러한 CAPSS의 행정구역별 VKT 산정방식은 도로이동오염원 배출량 산정 절차에 있어 논란이 지속되고 있다. NIER는 이에 대한 현실적인 보완책을 마련해야 할 것으로 판단된다.

VKT와 더불어 도로구간의 속도는 실질적인 배출 원단위를 결정하는 핵심적 변수이다. CAPSS의 경우, 관측구간의 경우 평균속도를 적용하며, 비관측 구간의 경우

2) COPERT(Computer programme to calculate emission from road transport) 배출모형은 유럽대기오염배출연구센터에서 개발되어 유럽 환경청의 회원국들이 이용할 수 있도록 제공되고 있으며, EPA 모형은 미국 환경보청(EPA, Environmental protection agency)과 교통부(DOT, Department of transportation)에서 이용되고 있다.

3) E_i : 배출가스(i)의 총 배출량, i ={미세먼지, 질소산화물 등}, v ={승용차, 버스, 트럭}, $A_{i,v}(q_v, l)$: v 의 교통량(q_v , 대/시간길이)*도로망의 길이(l , km)로 설명되는 거리 활동도, $EU_{i,v}$: v 의 배출량 원단위, $C_{i,v}$: 연료의 종류, 배출제어기술, 도로 및 환경조건에 의해 설명되는 v 의 예열 중 배출량(g), b : 연료별 차종별 구분, O_b : b 의 도로망 점유율(%), $EF_{i,b}(s)$: b 의 속도(s)에 따른 i 의 배출계수(g /대*km)

4) 국가표준 노드링크체계상의 전국 도로구간은 225,590개이며, 한국도로공사, 건설기술연구원, 서울특별시와 6대 광역시의 총 조사 지점은 5,421개로서 관측 도로구간의 비율은 2.407%로 매우 낮다. 추가로 6대 광역시를 제외한 중소도시의 교통량 조사는 매우 미비한 실정이며, Database로 관리되고 있지 않은 실정이다.

5) 뉴데일리 신문기사(2016.08.25.), “국토부 기초통계가 흔들린다. 車 주행거리-고속도로 사망자” 고무줄 논란

인근의 평균속도를 적용하고 있다. 도로구간의 속도는 결절점간에 이질적 행태를 보이며, 동일 구간 내에서도 시간대에 따라 차이를 보이며, 동일 시간대라 하더라도 차량별로 다른 특성을 보인다. 그리고 배출곡선은 일반적으로 속도가 증가함에 따라 급격히 감소한 후 완만히 감소한다(이후 차종에 따라 다시 증가하기도 한다). 따라서 평균속도를 적용하는 것은 과대/과소 추정을 피할 수 없으며, 이는 배출 원단위 산정의 치명적 실수라고 할 수 있다. 예를 들어 신호를 경험한 차량과 경험하지 않은 차량의 배출량은 큰 차이를 보인다. 참고로 국가 대기오염 물질 배출량 산정편람(III) (2013)의 경우, 서울을 제외한 도심의 평균속도를 25~35km/시로 제시하고 있으나, 도심의 경우 새벽에 주행을 한다 해도 교통신호의 지속적인 간섭으로 한 시간에 30km 이상을 주행하기 힘들다. 더 큰 문제는 군지역과 실측속도 미확보 도로구간으로서 제한 최고속도의 80%를 적용하고 있다. 실제로 속도가 수집되는 구간은 고속도로, 주요국도, 국지도, 지방도이며, 나머지 도로구간과 비주요 도로구간은 많은 경우에 있어 속도가 수집되지 않고 있다. 국내 도로이동오염원 배출량 산정 방법론이 설계/개발되었던 당시의 교통 정보 수집 기술은 고속도로, 국도, 그리고 도시부의 주간선으로 제한적이었다. 따라서 배출량 모형은 주어진 자료 환경 내에서 최적의 방안을 도출하기 위한 노력이었다고 판단된다.

2. 기술적 한계 극복의 방향

앞에서 언급한 바와 같이 배출량 산정의 핵심은 국토 전반을 설명하는 개별 도로구간의 VKT와 속도의 정확도이다. 국토수준의 교통량 조사를 통한 VKT의 확보는 현실적으로 어려운 일이다. 반면, In-vehicle 내비게이션과 스마트폰을 선두로 하는 개인 단말의 급속한 보급으로 차량이 주행하는 모든 도로(이면도로, 집산도로, 보조간선, 주간선, (도시)고속도로, 심지어 고속도로 연결도

로 및 도류화 도로)와 회전 방향별 구간속도자료 수집이 현실화되었다. 참고로 내비게이션을 통해 수집되는 자료는 GPS정보를 이용하기 때문에 현재 도로교통 분야에서 가장 정확한 속도자료이다.

또한 내비게이션을 통해 수집되는 P2P 주행계측은 운전자 이동경로정보를 매우 상세하게 제공한다. 도로 구간별 P2P 주행계측 집계 통행량은 교통량이 수집되는 관측 도로구간과 미관측 도로구간을 연결하는 핵심 변수로 이용될 수 있다.⁶⁾ 따라서 도로구간별 내비게이션 통행 수요를 이용하면 미관측 도로구간의 교통량 추정의 정확도를 향상시킬 수 있다. 그리고 내비게이션 통행의 공간적 커버리지는 일부 도서지역을 제외하면 99%에 달한다.

미시적인 속도자료의 구축과 합리적인 미관측 도로구간의 합리적인 교통량 추정과 더불어 주요한 요소는 분석 도로망의 실제 도로망 커버리지이다. 따라서 미시적 수준까지 분석 도로망을 구축하여 실제 VKT의 총량과 (관측과 미관측의 추정) VKT의 총량을 유사하게 담보할 수 있어야 한다. 이는 전적으로 미관측 도로구간의 교통량 추정 정확도에 의존한다. 추가로 미시적 도로망은 내 집 앞, 우리 동네의 도로에서 전국 도로망의 수준까지 국민과 관련기관에게 추정된 자료의 제공을 가능하게 한다.

III. 미시적 빅데이터 분석 체계: 자동차 미세먼지 배출량 추적

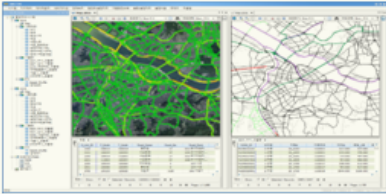
본 글에서 소개되는 도로이동오염원 분석시스템의 핵심은 대용량 P2P 차량이동계측 자료의 확보이다. P2P 계측자료는 민간 부문자료와 교통안전공단의 디지털 운행기록계(Digital tachograph, 이하 DTG)를 이용하였다.⁷⁾ 분석 시스템은 5개 주요 기능으로 구분하여 설명할 수 있으며, <그림 1>과 같다.

1) P2P 주행계측을 도로구간별로 속도 Profile의 형태로 집계하여 개별 통행의 분포를 집계하고, 도로구간의 P2P 계측 통행량을 시간 단위로 집계하면 개인정보는 노출되지 않는다.

네비게이션 이동계적 DB



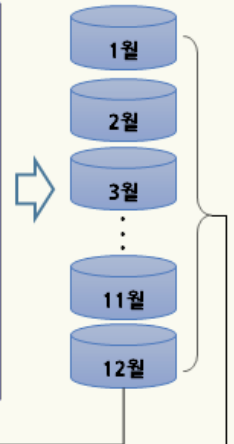
GIS Map



Map Matching



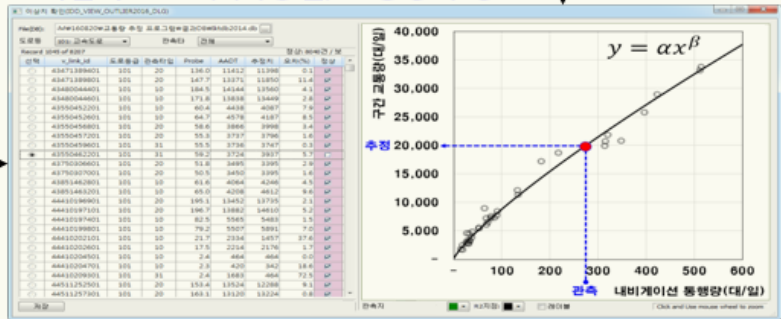
GPS 통행량 및 속도 DB



관측 교통량 DB



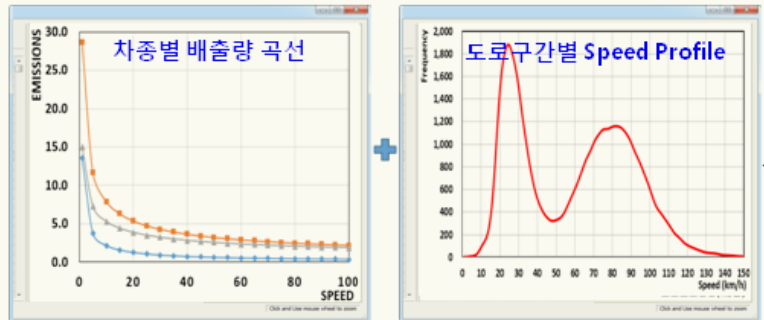
미관측 도로의 (차종별) 교통량 추정



집계/분석/표출



도로구간별 차종별 배출가스 산정



URL: <http://58.231.81.229/>

그림 1. 대용량 GPS 주행계적 기반 미세먼지 모니터링 시스템

[기능1] 분석 도로망 구축: 분석 도로망은 미시적인 세부 도로구간까지 분석/표출이 가능하도록 962,584개로 구성하였다. 이는 225,590개 도로구간으로 구성되는 국가표준 노드링크체계의 4.27배에 해당하며, 분석의 수준은 주요 이면도로, 단지 순환로, 램프까지 이다.⁸⁾

[기능2] 도로구간 속도 및 프로브 통행량 자료 구축: 대용량의 P2P 궤적자료는 개별 궤적과 분석 도로망 전자지도의 Map matching 과정을 통하여 도로구간별로 시간대(월별 요일별 시간대)로 프로브 통행량과 1km/시 간격의 속도 Profile 형태로 구축된다. Map matching은 램프, 도로류화 구간, 고속도로 휴게소의 수준까지 세밀한 수준으로 수행된다.

[기능3] 미관측 도로구간의 교통량 추정: 관측 도로구간의 GIS DB기반 교통량 자료와 도로구간의 집계된 프로브 통행량을 이용하여 미관측 도로구간의 교통량을 추정한다. 교통량 추정모형은 관측 도로구간의 교통량과 프로브의 관계와 미관측 도로구간과 관측 도로구간의 연결성을 이용한다. 추가로 조사 교통량의 연도별 일관성, 인접 관측지점과의 관계 등을 고려하여 신뢰도가 떨어지는 관측 도로구간의 정보를 분석/기록한다.⁹⁾

[기능4] 도로구간별 미세먼지 배출량 추정: 도로구간별 속도 Profile과 도로이동오염원 배출량 곡선¹²⁾을 이용하여 차종별 배출 원단위를 추정하고, 추정된 배출 원단위와 교통량을 이용하여 도로구간별 이동오염원별 배출량을 산정한다. 배출량의 산정 시, 속도 Profile은 1km/시 속도까지 미세한 정보를 제공하며, 도로구간 차량의 다양한 속도행태에 대한 정보를 포함하고 있다.

[기능5] 집계/분석/표출/서비스: 분석된 도로구간별 교통량과 배출량은 시간/공간 단위로 집계/분석되어 DB에 저장되고, 저장된 DB는 이용자의 분석 요구수준에 따라

제공된다. 본 서비스는 URL(<http://58.231.81.229>)에서 시범운영 중에 있으며, 2016년 12월 서비스를 시작할 계획이다.

IV. 미세먼지에 갇힌 말 못할 고민

본 글에서 소개된 분석시스템으로 추정된 PM10과 NOx의 배출량과 국가대기오염물질배출서비스(<http://airmiss.nier.go.kr>)의 추정치의 비교에 앞서, 많은 재분석과 검토를 수행하였으며, 번뇌와 고민 끝에 논의가 바람직하다는 결론을 내렸음을 언급하고 싶다. 분석 결과는 '배출 인벤토리¹²⁾가 정확하다'는 가정과 더불어 CAPSS 모형과 달리 Cold start 배출은 고려하지 않았음을 일러둔다.

1. 교통량 추정의 정확도

소개된 시스템에서 이용된 속도자료의 정확도는 현 기술로 수집할 수 있는 자료 중 가장 정확한 자료이다. 따라서 소개된 시스템의 신뢰도는 미관측 도로구간의 교통량 추정의 정확도에 대부분을 의지한다고 해도 과언이 아니다. 관측 교통량과 추정 교통량의 상관관계수()는 0.992, $y=x$ 에서 결정계수()는 <그림 2>와 같이 0.985로 나타나, 개발모형의 추정 성능은 매우 높은 것으로 판단된다. 사실상 기존 미관측 도로구간 교통량 추정모형의 성능에 비하면 놀라울 정도이다. 관측과 추정 VKT는 고속도로를 제외하면 1% 이하의 정확도를 보이고 있다. 반면, 고속도로의 경우 추정 VKT는 높게 나타나고 있으

7) 민간 부문자료의 경우, 링크기준으로 73.04 억 건(2,016 GB)이며, 98.2%의 도로망 커버리지를 보였으며, 실제 차량이 운행되지 않는 도로구간을 제외하면 커버리지는 99.9%에 가깝다. 교통안전공단의 자료는 영업용 차량(택시, 버스, 화물차)에 의무장착되는 DTG의 궤적자료이며, 민간 GPS자료의 영업용 차량정보를 보완한다.

8) 분석에 이용된 총 관측교통량 지점은 5,431개로서 도로망대비 관측지점의 비율은 0.564%이다. 따라서 내비게이션 궤적이라는 강력한 설명변수를 이용하여 미관측 교통량의 추정모형의 높은 정확도를 확보하였다.

9) 관측 교통량의 구축과정에서 입력 에러가 발생하며, 관련기관에서 제공받은 교통량 자료의 DB에 포함된 GIS 링크와 입력 교통량의 Miss matching 등의 문제를 해결하는 과정이다.

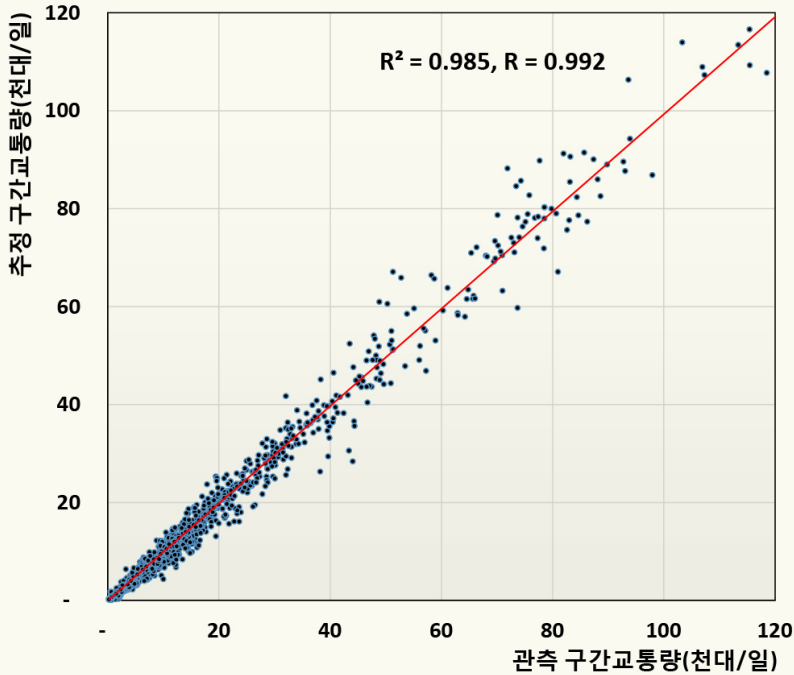


그림 2. 관측과 추정 교통량 비교

표 1. 관측과 추정 VKT의 비교 (단위: 백만대*km/일)

구분	지점수	관 측	추 정	차이(%)
고속도로	1,034	63.72	64.94	1.92
일반국도	3,608	4.26	4.22	0.87
서울시	204	3.61	3.63	0.45

며, 이는 한국도로공사에서 운영 중인 갓길차로제의 차로에 교통량 감지기가 설치되지 않았기 때문으로 파악된다. 따라서 고속도로 VKT는 추정치가 실제 값에 가깝다고 판단된다.

2. 서울시 배출량 추정 결과

국립환경과학원(이하 NIER)의 서울시 VKT(백만대*km/일)은 83.5(2012년), 114.4(2014년)로 보고되었다

[3]. 반면, 본 글에서 소개된 방법론은 72.6으로 추정되어 NIER의 2012년 추정치보다 13%, 2014년 추정치보다 36.5% 낮게 나타났다. <그림 3>은 미세먼지(이하 PM10)과 질소산화물(이하 NOx)의 추정 배출량과 VKT의 관계를 보여주고 있다. 본 방법론의 추정치는 NIER의 추정치에 비하여 각각 26.3%, 29.2%의 수준으로 큰 차이를 보였다. Cold start 배출량을 2배로 고려해도 NIER의 56.9%, 58.4%의 수준이다. 본 방법론에서 적용한 속도자료의 정확도와 미관측 교통량의 추정 정확도를 고려해볼 때,

NIER의 추정치는 다소 받아들이기 어려운 부분이 있다고 하겠다. 추정컨대, 미관측 구간의 차종 구성비로 버스과 화물차량이 고려되었을 가능성이 있으며, 교통안전공단의 서울시 VKT를 적용했을 가능성이 있다.

보다 미시적으로 살펴보면, NIER의 추정치는 차고지가 위치한 구의 발생량 분담률이 높게 나타나고 있으며, 이는 차고지를 기준으로 서울시 총 VKT를 할당했기 때문으로 판단된다. 그리고 강남과 서초의 추정치는 본 방법론과 NIER이 역전 현상을 보이고 있다. 서초구의 경우, 강남과 양재 고속터미널이 위치해 있으며 행정구역상으로 경부고속도로 서울시 구간과 강남대로 남측측을

포함하고 있다. 따라서 본 방법론의 추정결과가 다소 합리적이라 판단되며, VKT와 배출량의 R 은 0.961 이상으로 우수하게 나타나고 있다. 추가로, 서울시의 승용차 통행은 주말 여가특성이 강한 점을 고려해야 한다고 판단된다.

3. 전국 배출량 추정 결과

전국 배출량은 고속도로와 주요 도시를 중심으로 분포하고 있으며, 경기, 인천, 충남권과 부산과 대구권으로 구분되고 있다. 이와 같이 우리나라 PM_{10} 과 NO_x 배출량

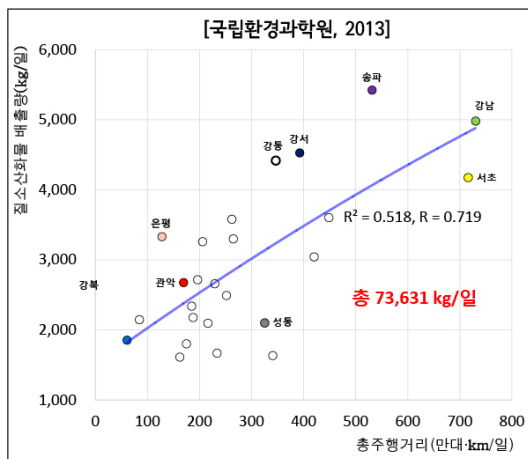
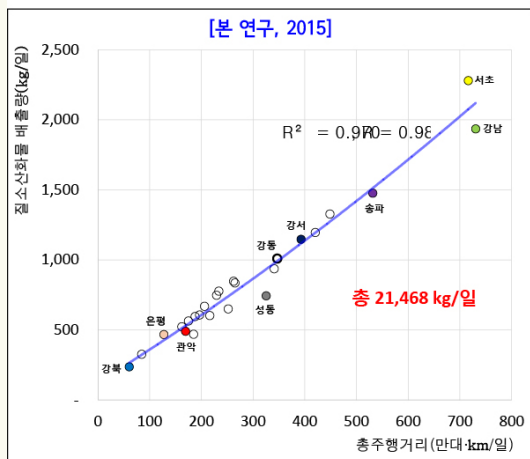
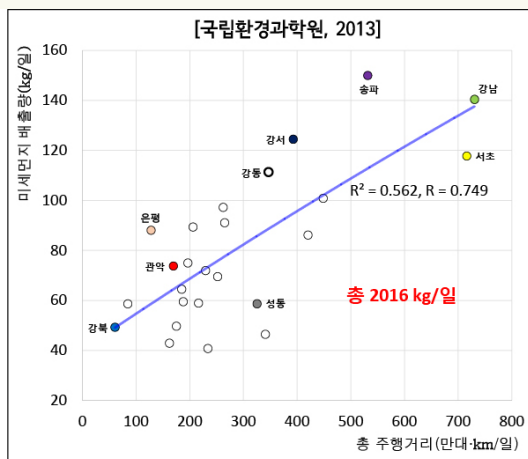
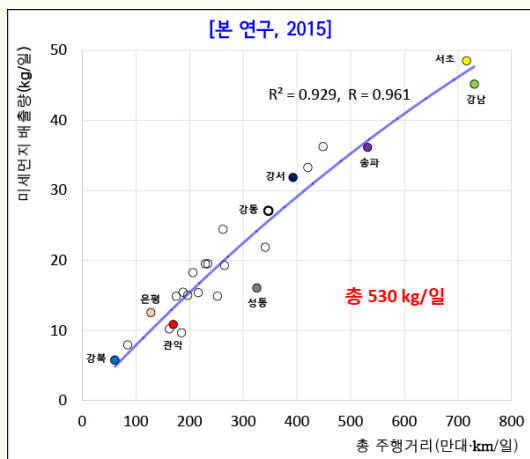


그림 3. 서울시 구별 총주행거리에 따른 배출량 비교

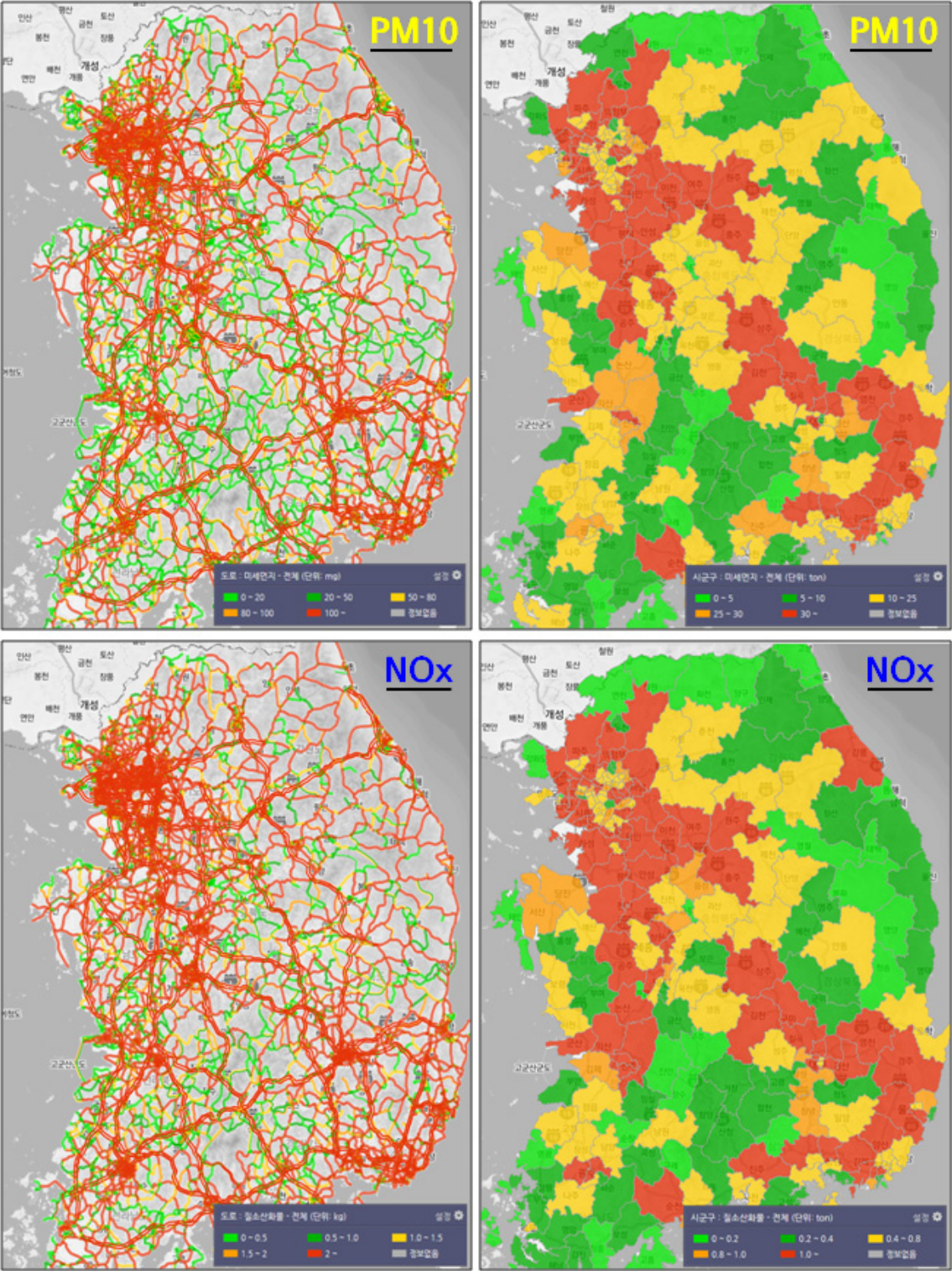


그림 4. 전국 도로망 및 지자체 배출량 분포

은 \ 형으로 분리되어 남\ 북의 형태를 보이고 있다. 특히, 서울외곽의 배출량은 서울과 경기도에 비하여 낮게 나타나고 있으며, 이는 서울을 둘러싼 녹지 때문으로 판단된다. 추가로, 전라권의 경우 산단이 위치해 있는 군산과 광양의 배출량이 뚜렷하게 나타나고 있다.

추정된 전국 VKT는 619.0(백만 대*km/일)로서 2015년 7월 기준 자동차 등록대수인 2,055.5만 대를 고려하면 일평균 30.12km를 주행한 것으로 나타났다. 이는 (논란의 여지는 있지만) 교통안전공단의 발표치 39.8km보다 9.68km(32.19%) 낮은 수치이다. 추정치가 낮은 이유는 차량 등록은 되어있지만 운행하지 않는 차량과 더불어 분석에서 도도시역, 주차장, 시내도로까지의 주행거리,

비도시 지역의 도로가 분석에서 제외되었기 때문이다. 소개된 방법론의 PM10과 NOx 배출량 추정치(ton/일)는 5.1과 202.0으로 나타났으며, 교통안전공단의 평균주행거리 부족분을 고려하면 조정된 추정치는 6.74와 266.96로 분석되었다. 이 수치는 NIER 추정치의 20.3과 29.3%의 수준이다. 특히, 서울의 경우 VKT는 경상남·북도의 1.6배 높지만 NIER의 추정치는 1.5배와 1.7배 높게 나타났다. 반면 본 방법론은 VKT와 배출량의 관계는 이 0.94 이상으로 나타났다. 추가로 CAPSS 방법론은 시군구 보다는 국토수준의 추정에 적합하다고 판단된다.

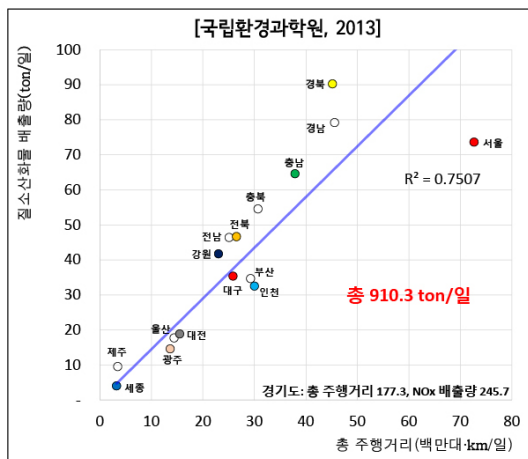
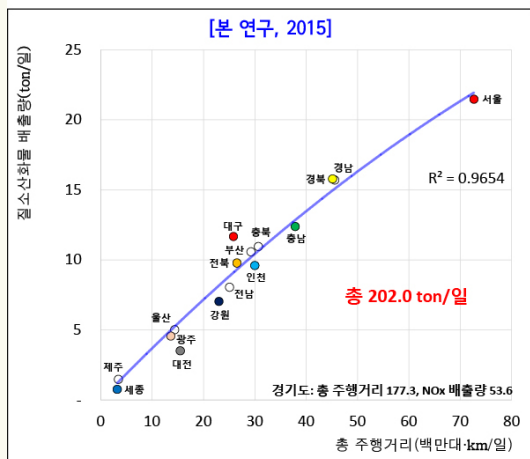
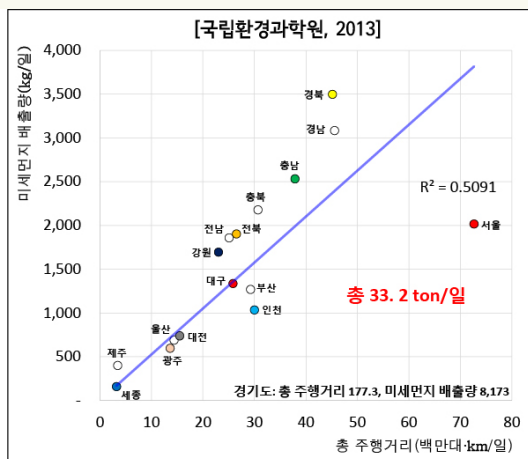
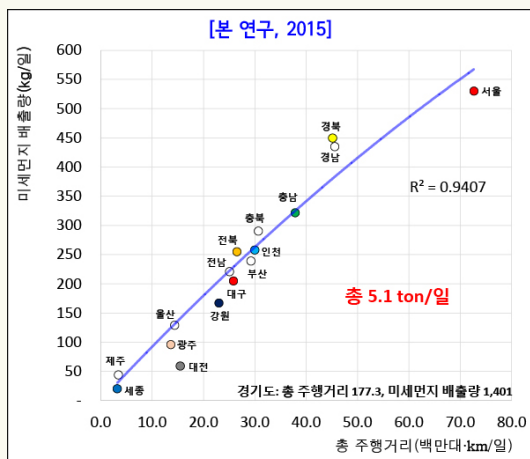


그림 5. 특별광역시도별 총주행거리에 따른 배출량 비교

V. 마치며

본 글에서 소개된 방법론의 조정된 2015년의 전국 PM10과 NOx 배출량 추정치(ton/일)는 6.7과 267로 분석되었다. 앞서 언급했듯이 소개된 방법론은 Cold start 배출량을 고려하지 않았으며, 일부 도로구간이 제외되었다. 따라서 추정치의 2배에 해당하는 마진과 NIER의 2013년 추정치를 이용하여 도로이동오염원의 PM10과 NOx 구성비를 분석하면 <표 2>와 같다. (참고로 NIER는 2014년과 2015년의 추정치를 발표하지 않고 있는 상태이다.) 민감도 분석결과, 소개된 방법론의 조정된 배출량 추정치를 반영할 경우, PM10과 NOx 총 배출량(ton/일)은 306.6과 2,344.6으로 각각 7.9와 21.5 감소하며, 도로이동오염원의 배출량 구성비(%)는 2.2와 11.4로 분석되었다. 2배 마진을 고려할 경우, PM10과 NOx 총 배출량은 299.9와 2,077.7로 각각 5.9와 12.6 감소하며, 배출량 기여도는 4.3과 12.6%로 분석된다. 따라서 도로이동오염원의 PM10기여도는 5% 내외, NOx는 10% 내외라는 결론

에 도달한다. 추가로, 교통안전공단은 2015년의 차량 평균주행거리(km/일)를 39.8로 발표하였으며, 이는 2013년의 39.7과 유사한 수치이다. 그리고 NIER은 2014년의 전국 VKT를 114.4 백만 대*대/일로 추정하였다[3]. 따라서 2014와 2015년 도로이동오염원 배출량 추정치는 2013년과 유사할 것이라는 결론에 도달하게 된다.

본 글에서 소개된 도로이동오염원 배출량 산정 시스템은 미시적 수준에서 도로구간별 VKT와 배출원단위를 수용 가능한 오차범위 내에서 추정하는 것으로 판단되며, 도로이동오염원의 배출량 추정에 있어 잠재력을 확인할 수 있었다. 향후 추정의 정확도를 향상시키기 위해서는 분석 도로망의 경우 주차장과 같은 단지내 도로, 비도시화지역의 이면 및 접근도로까지 확장할 필요가 있어 보인다. 그리고 배출량의 산정에 있어 Cold start 배출량, 도로 경사, 화물의 적재여부 등을 추가해야 한다. 도로경사의 경우, GIS 수치지도의 정보를 이용하면 가능할 것으로 판단된다. 그리고 화물의 적재여부는 교통안전공단의 DTG 자료를 활용하면 가능할 것으로 판단된다.

표 2. 민감도 분석 결과

구분	배출량(ton/일)	PM10	NOx
NIER (2013)	전체(㉔)	333.0	2,988.0
	도로이동(㉔)	33.2	910.3
	비율(%)	10.0	30.5
	㉔-㉔	299.9	2,077.7
시나리오1	전체(㉔-㉔+㉔)	306.6	2,344.6
	도로이동(㉔)	6.7	267.0
	비율(%)	2.2	11.4%
시나리오2	전체(㉔-㉔+2*㉔)	313.4	2,611.6
	도로이동(2*㉔)	13.5	533.9
	비율(%)	4.3	20.4

참고문헌

- [1] 국가 대기오염물질 배출량 서비스(<http://airmiss.nier.go.kr>).
- [2] 국립환경과학원, 2013, 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(III).
- [3] 국립환경과학원, 2015, 실제 운전조건의 이동오염원 배출계수 및 배출량 산정 연구(II): 교통부문 활동도 및 지역 할당량 고도화 연구”
- [4] 최윤택, 봉영채, 김진옥, 2009, 고속도로 이용차량의 평균주행거리, 교통 기술과 정책, 6(2), 69-77.
- [5] California EPA, 1996, Methodology for estimating emissions from on-road moter vehicles.
- [6] EEA, 1999, Atmospheric emission inventory guidebook 2nd edition.
- [7] Selby, B. and Kockelman K.M., 2013, Spatial prediction of traffic levels in unmeasured locations: applications of universal kriging and geographically weighted regression. Journal of Transport Geography, 29, 24-23.
- [8] Shamo, B., Aza, E., and Membah, J., 2014, Linear spatial interpolation and analysis of annual average daily traffic data. Journal of Computing in Civil Engineering.
- [9] Zhao, F. and Park, N., 2004, Using geographically weighted regression models to estimate annual average daily traffic. Transportation Research Record, 1879, 99-107.